

Processamento Digital de Imagens Landsat-TM na Detecção de Áreas de Microexsudação de Hidrocarbonetos, Região da Serra do Tonã, Bahia

RAIMUNDO ALMEIDA-FILHO

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
Caixa Postal 515 - 12.201-097 – São José dos Campos – SP, Brasil
rai@ltd.inpe.br

Abstract Landsat-TM images were examined for the possibility that hydrocarbon microseepage areas, identified through a geochemical soil gas survey, could be detected under the physiographic and geologic characteristics of the study area. Principal component analysis technique was used as an attempt to eliminate redundancy among the six TM reflective bands, and to enhance information that is unique to each spectral band. PC1, PC2, and PC6 images were discharged due to dominant contribution of scene albedo, greenness of the vegetation cover, and noise, respectively. Despite concentrating only 18% of the total variability of the data, PC3 (11%), PC4 (5%), and PC5 (2%) images enhanced particular terrain spectral features, allowing remote identification of the target areas.

Keywords: remote sensing, microseepage areas.

1 Introdução

A microexsudação de hidrocarbonetos é um processo bem documentado que ocorre em bacias sedimentares em todo o mundo (Jones & Drozd, 1983). Os reservatórios de óleo e gás não são inteiramente selados, permitindo o escape de hidrocarbonetos para a superfície.

A interação de hidrocarbonetos gasosos e fluidos associados com o material da coluna estratigráfica sobrejacente aos depósitos, pode produzir uma ampla variedade de alterações diagenéticas, propiciando o aparecimento de uma assembléia mineralógica particular. A oxidação química e/ou conversão bacteriológica de hidrocarbonetos, com produção de CO₂, H₂S e ácidos orgânicos, transforma principalmente feldspatos em argilas, como caolinita, illita e clorita. O ambiente redutor criado pode levar ainda à formação, mobilização e concentração de minerais radioativos (urânio) e de óxidos e sulfetos magnéticos. Ainda devido à ação de soluções ácidas, o íon férrico presente na hematita, goetita e outros minerais limoníticos é alterado para íons ferrosos com conseqüente perda da coloração avermelhada das rochas. Como resultado pode ocorrer uma das manifestações mais típicas em áreas de microexsudação de hidrocarbonetos, representada pelo fenômeno do *bleaching*.

Alguns minerais oriundos desse processo possuem feições espectrais diagnósticas (e.g. argilas, carbonatos, minerais de ferro) o que, aliado à presença de possíveis associações rocha-solo-vegetação, tem permitido a identificação remota de áreas de microexsudação de hidrocarbonetos, como indicado em trabalhos de Malhotra et al., 1989; Simpson et al., 1989; Segal & Merin, 1989; e Almeida-Filho, et al., 1999.

Na expectativa de que a microexsudação de hidrocarbonetos na região de estudo, constatada através de levantamentos geoquímicos de solo, tenha criado alterações mineralógicas e/ou associações rocha-solo-vegetação, imagens do Landsat *Thematic Mapper* (TM) foram analisadas com vistas à possibilidade de detectar possíveis manifestações superficiais ligadas a esses processos.

2 Características Gerais da Área

A área de estudo é delimitada pelas coordenadas 38° 30' 30" – 38° 34' 30" de longitude oeste e 9° 05' 35" – 9° 21' 10" de latitude sul. Ela localiza-se no estado da Bahia, município de Macururé, região de influência da cidade de Paulo Afonso (Figura 1).



Figura 1. Localização da área

Localizada a poucos quilômetros a norte da reserva ecológica do Raso da Catarina, a área de estudo é típica do domínio semi-árido do nordeste brasileiro, com precipitação pluviométrica média anual em torno de 500 mm, mas com frequentes períodos de estiagem que podem atingir vários meses.

Predomina na região de estudo a cobertura vegetal tipo caatinga, composta por dois estratos arbóreos representados por árvores e arbustos espinhentos, que geralmente perdem suas folhas na estação seca. Na maior parte da área, a cobertura vegetal original não foi afetada por atividade antrópica.

Do ponto de vista geológico, a área pertence à bacia sedimentar Tucano Norte, a qual é parte do rift Recôncavo-Tucano-

Jatobá (RTJ), formado durante os estágios iniciais de abertura do Atlântico sul, no Cretáceo Inferior. O rife RTJ constitui uma série de meio-grabens assimétricos, separados por altos do embasamento e falhas de transferência, com cada meio-graben possuindo características estruturais e sedimentares próprias (Milani & Davis, 1988).

A Figura 2 é uma composição colorida Landsat-TM [TM5(R)+TM4(G)+TM1(B)] e o mapa de geologia de superfície da área de estudo derivado de sua interpretação (Almeida-Filho; 1977), com suporte de dados de campo. Somente rochas sedimentares pós-rift afloram na área de estudo, reunidas na Formação Marizal e na Sequência Tonã. A Formação Marizal é representada ali por arenitos finos quartzosos, algumas vezes com estratificação cruzada ou marcas de corrente. A Sequência Tonã, sobreposta à Formação Marizal, constitui uma intercalação de arenitos finos e calcários silicificados, compreendendo um pacote de aproximadamente 80 metros de espessura. Análises biocrostratigráficas do material carbonático silicificado indicou tratar-se um calcário bioclástico com ostracodes, cuja taxinomia sugere paleoambiente de lagos efêmeros do Aptiano/Albiano

Como parte de um programa exploratório regional, a Petrobras desenvolveu um campanha geoquímica na região, resultando em mais de seiscentas determinações de metano, etano, propano, butano e pentano. As amostras de solo para dosagem gasométrica foram coletadas a cerca de 1 metro de profundidade, espaçadas de 1 km, ao longo de linhas sísmicas, configuração de amostragem que assegurou uma cobertura relativamente homogênea da área. Um total de 262 amostras foram coletadas dentro da área de estudo.

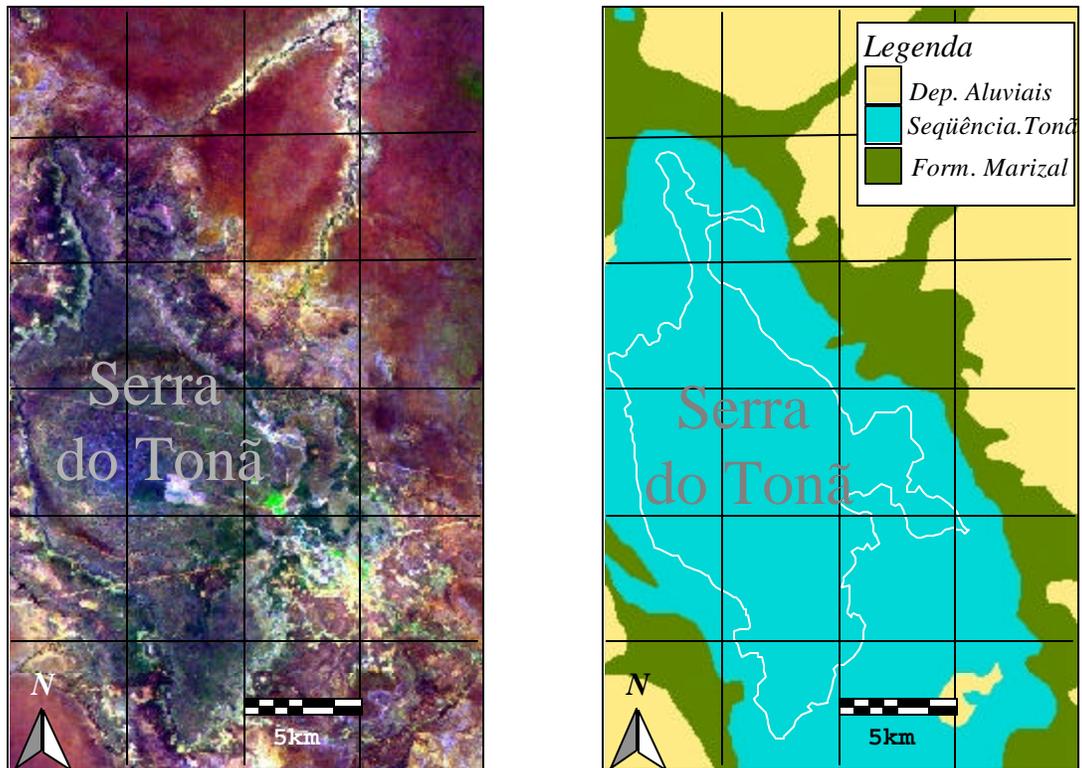


Figure 2. Composição colorida Landsat-TM da área de estudo e mapa de geologia de superfície derivado de sua interpretação, com suporte de dados de campo..

Informações referentes a metano não foram consideradas na interpretação desses dados, devido a possibilidade de incorporar também metano de origem biogênica. Valores gasométricos (somatório da concentração de etano a pentano) abaixo da média (4,98 ppm), foram considerados como constituindo a população de *background* regional, correspondendo a 65% do total de amostras. De modo a propiciar uma melhor visualização dos dados geoquímicos, eles foram interpolados (Kriging) em um *grid* com célula de 500 x 500 metros. Na forma de curvas de isovalores de concentração C2-C5, foram realçadas várias áreas de concentrações anômalas de hidrocarbonetos em solos.

3. Processamento Digital

Foram utilizadas imagens multiespectrais do *Thematic Mapper* do satélite Landsat-5, correspondentes à órbita 216, ponto 66, obtidas sob ângulo de elevação solar de 56° e azimute de 86° , em 7 de outubro de 1987. Selecionou-se o conjunto de imagens mais antigas (sem cobertura de nuvens), de modo a minimizar possíveis influências de atividade antrópica na cobertura vegetal.

Dados da estação pluviométrica de Paulo Afonso indicam que o ano de 1987 foi bastante seco na região, tendo chovido apenas 254,9 mm, comparados com os 582,8 mm de média histórica de trinta anos, entre 1960 e 1990. A precipitação pluviométrica dos dois meses que antecederam à obtenção das imagens foi de apenas 9,3 mm.

Antes dos processamentos, as imagens foram convertidas de valores de radiância para valores de reflectância (exoatmosfera) e posteriormente corrigidas para efeitos de espalhamento atmosférico.

Uma característica marcante das imagens multiespectrais é a redundância das informações contidas em suas diferentes bandas, constituindo informações altamente correlacionadas entre si. No caso da área de estudo, as bandas do visível (TM1, TM2 e TM3) e do infravermelho médio (TM5 e TM7) possuem índices de correlação acima de 0,9 (Tabela 1). As menores correlações ocorrem em relação à banda TM4, devido à alta resposta da cobertura vegetal verde no platô do infravermelho próximo.

Tabela 1. Matriz de correlação entre as bandas Landsat-TM na área de estudo.

Bandas	TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	TM7
TM1	1,000	0,902	0,840	0,715	0,689	0,728
TM2		1,000	0,946	0,851	0,764	0,812
TM3			1,000	0,841	0,863	0,898
TM4				1,000	0,711	0,715
TM5					1,000	0,959
TM7						1,000

A técnica de análise de componentes principais (ACP) foi usada com vistas a eliminar a redundância contida nas seis bandas refletidas do Landsat-TM e tentar realçar informações que são únicas para cada banda espectral. Essa técnica tem encontrado ampla aceitação por grande número de autores (*e.g.* Chavez Jr., 1989; Crósta & Moore, 1989; Amos & Greenbaum, 1989; Louglin, 1991; etc.), que a têm utilizado como método eficiente para realce de feições espectrais sutis de alvos, tais como estimativas da abundância de minerais limoníticos ou de minerais portadores do íon hidroxila (argilas, micas, etc.).

A técnica baseia-se em transformações matemáticas que geram novas bandas, não correlacionadas entre si, resultantes de combinações lineares das bandas originais. Estabelecido o número de dimensões presentes em um conjunto de dados, é definido um elipsóide cujos eixos ortogonais são alinhados segundo as direções de maior variância dos dados. A soma das variâncias em todas as CP é igual ao total da variância presente nas imagens originais. A concentração de variabilidade dos dados nas direções ortogonais definidas pelos eixos do elipsóide é indicada pelos autovalores. A maioria absoluta da variância total de um conjunto de dados é mapeada nas primeiras componentes, com decréscimo nas componentes de ordens mais altas.

Se o objetivo do uso da técnica é reduzir a dimensionalidade dos dados contidos em um conjunto de imagens multiespectrais, um composição colorida obtida com a combinação das três primeira componentes principais, encerrará a maioria absoluta das informações contidas nos dados originais. Entretanto, informações sutis relacionadas à diferenciação intragrupos de dados são reunidas em componentes principais de ordens mais altas. Isso em parte é devido ao fato de que um conjunto de dados multiespectrais pode

encerrar mais de uma população estatística, cujas distribuições são representadas de modo mais adequado no espaço tridimensional de um elipsóide.

Por envolver imagens não correlacionadas, composições coloridas falsa-cor obtidas com componentes principais em geral são muito ricas em variações tonais. Quando a primeira componente principal não é usada, essas composições são também “lisas”, ou seja, desprovidas de informações texturais do terreno. Este é o caso do presente estudo.

De modo a recompor informações texturais do terreno e facilitar a visualização espacial das informações tonais realçadas em uma composição colorida com componentes de ordens mais altas, essa composição foi fundida com uma fotografia aérea digitalizada, através de técnicas de transformação IHS (*Intensity-Hue-Saturartion*). Com isso foi possível reconstituir as feições morfológicas do terreno, permitindo uma melhor visualização da distribuição espacial das áreas de microexsudação de hidrocarbonetos na região.

4 Resultados e Discussões

A análise das imagens CP concentrou-se nas componentes PC3, PC4 e PC5, descartando-se a CP6 (ruídos) e as CP1 (informações gerais de albedo comum a todas as demais bandas) e CP2 (informações gerais da cobertura vegetal). Embora as componentes principais PC3, PC4 e PC5 encerrem apenas uma pequena parcela da variabilidade total dos dados (18%), as informações espectrais nelas contidas, depuradas das contribuições de albedo e da cobertura vegetal, estão ligadas ao comportamento espectral de feições do terreno, podendo representar assinaturas espectrais de alvos de interesse. Entretanto, à medida que se avança para a análise de componentes de ordens mais altas, aumenta a dificuldade em estabelecer correlação com as características do terreno, que estariam contribuindo para essas componentes principais.

No caso particular da área de estudo, a terceira componente principal, contribui com 11% da variabilidade total dos dados (Tabela 2). Com valores modulares de autovetores crescentes em direção aos comprimentos de onda maiores, ela pode ser entendida como expressando preponderantemente respostas de solos.

Tabela 2. Auto-valores e coeficientes de auto-vetores das componentes principais.

Componentes	Auto-valores		Auto-vetores					
			TM1	TM2	TM3	TM4	TM5	TM7
CP1	2683	68%	0.083	0.187	0.332	0.302	0.640	0.595
CP2	581	13%	0.116	0.304	0.300	0.771	-0.383	-0.253
CP3	491	11%	0.199	0.344	0.430	-0.454	-0.522	0.423
CP4	223	5%	0.249	0.311	0.412	-0.324	0.409	-0.631
CP5	89	2%	0.610	0.458	-0.642	0.019	0.042	0.065
CP6	44	1%	0.711	0.669	0.199	0.063	0.045	0.019

A quarta componente principal contribui com 5% da variabilidade total dos dados. A alta contribuição das bandas TM5 e TM7 (com sinais trocados), sugere influência da

resposta espectral de argilas, caracterizada por alta reflectância na banda TM5 e feição de absorção da radiação na banda TM7. Material carbonático também poderia estar exercendo influência sobre essa componente.

A quinta componente principal, com apenas 2% da variabilidade dos dados, é dominada pelas bandas do visível, podendo-se inferir a contribuição de material limonítico, a julgar pela contribuição mais significativa dos autovetores correspondentes às bandas TM3, TM2 e TM1.

A Figura 3 é uma composição colorida falsa-cor, obtida com as componentes PC3(R)+PC4(G)+PC5(B), transformada para o espaço IHS. Nessa composição, a componente H, modificada através de realce linear de contraste, indica em matizes de verde uma série de alvos distribuídos ao longo da borda do platô da serra do Tonã.

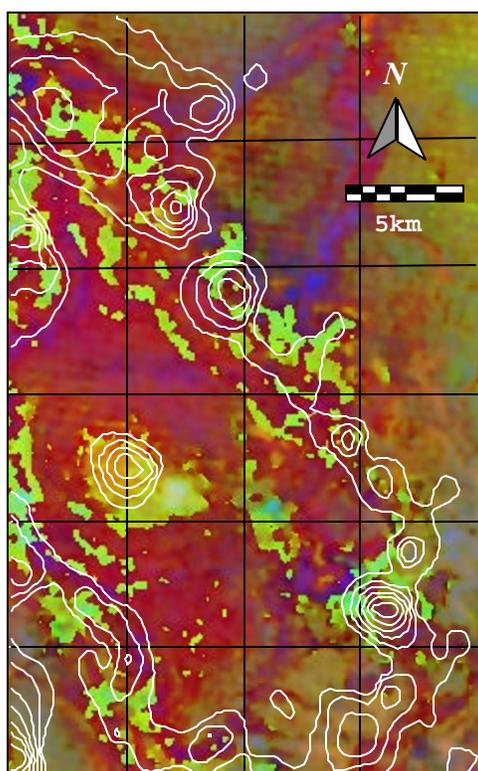


Figura 3. Composição falsa-cor obtida com as componentes principais PC3+PC4+PC5 convertidas ao espaço IHS, realçando em matizes de verde áreas de microexsudação de hidrocarbonetos. Isolinhas indicam concentrações anômalas de hidrocarbonetos em solo (ΣC_2-C_5) acima de 6 ppm (equidistância é de 2 ppm).

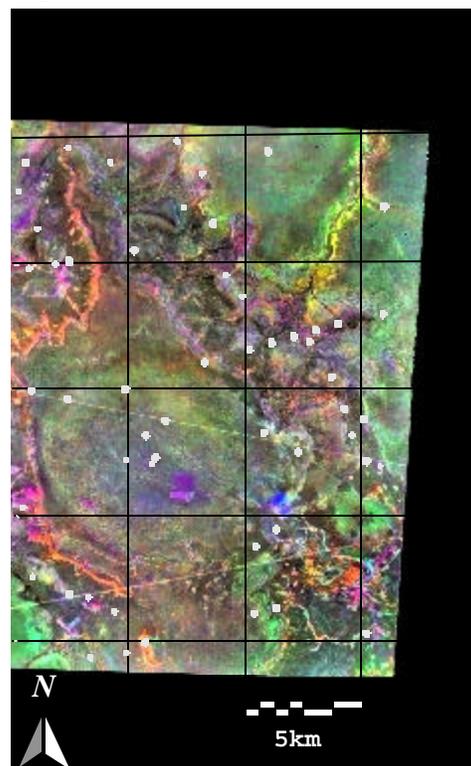


Figura 4. Produto híbrido que reúne informações das imagens Landsat-TM e informações texturais derivadas da fotografia aérea, realçando em matizes de magenta, áreas de microexsudação de hidrocarbonetos. Círculos brancos são locais de amostragem geoquímica, com concentrações anômalas de hidrocarbonetos (ΣC_2C_5).

A associação dessas anomalias tonais com áreas de microexsudação de hidrocarbonetos pode ser comprovada, comparando-se sua distribuição com curvas de isovalores de concentração de hidrocarbonetos em solo (ΣC_2-C_5). As curvas de isovalores

indicam concentrações anômalas de hidrocarbonetos, maiores que 6 ppm, com equidistância é de 2 ppm.

De modo a evidenciar melhor a distribuição espacial das anomalias tonais identificadas na composição falsa-cor gerada com as componentes principais, ela foi fundida com um fotografia aérea. Uma vez no espaço IHS, ela foi transformada de volta ao espaço RGB, com substituição da banda intensidade pela fotografia aérea de alta resolução espacial (pixel 6 x 6 metros).

A Figura 4 é o produto híbrido resultante dessa fusão, o qual reúne as informações espectrais derivadas das imagens Landsat-TM e as informações texturais derivadas da fotografia aérea. Ela mostra com detalhe as características espectrais, texturais e morfológicas da área de estudo. Nesse produto, as áreas de microexsudação de hidrocarbonetos aparecem em matizes de magenta. Pontos brancos indicados sobre esse produto correspondem a locais de amostragem geoquímica com concentrações anômalas (acima do *background* regional) de hidrocarbonetos (ΣC_2C_5) em solos. A estreita correspondência entre várias medidas gasométricas e as anomalias tonais indicadas nessa imagem híbrida, confirma a origem dessas anomalias tonais como decorrentes de processos de microexsudação de hidrocarbonetos.

5 Conclusões

A estreita associação espacial entre anomalias tonais, realçadas através de processamento digital de imagens Landsat-TM, com dados geoquímicos referentes à concentrações de hidrocarbonetos em solos, atesta o potencial das técnicas de sensoriamento remoto na detecção desse tipo de alvo, que em geral constitui importante indício de ocorrência de óleo/gas.

Agradecimentos

O autor agradece ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais-INPE, à Petróleo Brasileiro-S.A.- PETROBRAS, e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo-FAPESP, pelo suporte à realização deste estudo.

Referências

- Almeida-Filho, R. 1997. Sensoriamento remoto integrado com dados multifontes no estudo de áreas de microexsudação de hidrocarbonetos, bacia Tucano Norte, Bahia. *FAPESP 96/46351-5*, 57 p. Relatório de Pesquisa, Projeto 96/46351-5.
- Almeida-Filho, R., Miranda, F. P., Yamakawa, T. 1999. Remote detection of a tonal anomaly in an area of hydrocarbon microseepage, Tucano basin, north-eastern Brazil. *International Journal of Remote Sensing*, **20**: 2683-2688.
- Amos, J. B. & Greenbaum, D. 1989. Alteration detection using TM imagery. The effect of supergene weathering in an arid climate. *International Journal of Remote Sensing*, **10**: 515-527.
- Chavez Jr., P. S.; Kawarteng, A. Y. 1989. Extracting spectral contrast in Landsat Thematic Mapper image data using selective principal components analysis. *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, **55**: 339-348.

- Crósta, A. P. & Moore, J. M. 1989. Enhancement of Landsat Thematic Mapper imagery for residual soil mapping in SW Minas Gerais State: a prospective case history in greenstone belt terrain. 7th Thematic Conference on Remote Sensing for Exploration Geology. *Proceedings*, vol. 2, p. 1173-1187.
- Jones, V.T. and R.J Drodz. 1983. Predictions of oil or gas potential by near-surface geochemistry. *The American Association of Petroleum Geologists Bulletin*, 67: 932-952.
- Loughlin, W. P. 1991. Principal component analysis for mapping alteration. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 57: 1163-1169.
- Malhotra, R. V., Richard, W. B. & Jonhson, G. D. 1989. Detection of surficial changes associated with hydrocarbon seepage, Sheep Mountain anticline, Bighorn Basin, Wyoming. 7th Thematic Conference Remote Sensing for Exploration Geology. *Proceedings*, vol. 2, p. 1097-1110.
- Milani, E.J. and I. Davison. 1988. Basement control and transfer tectonics in the Recôncavo-Tucano-Jatobá Rift, Northeast Brazil. *Tectonophysics*, 154: 41-70.
- Segal, D. B. & Merin, I. S. 1989. Successful use of Landsat Thematic Mapper data for mapping hydrocarbon microseepage-induced mineralogic alteration, Lisbon Valley, Utah. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 55: 1337-1145.
- Simpson, C. J. Wilford, J. R., Maciais, L. F. & Korsch, R. J. 1989. Satellite detection of natural hydrocarbon seepage: Palm Valley gas field, Amadeus Basin, Central Australia. *The APEA Journal*, 29: 196-211.